

اثر دما و رطوبت بر برخی از ویژگی‌های مکانیکی دانه سویا تحت بارگذاری شبه استاتیک

فاطمه سالک^۱ و داود قنبریان^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۴/۷/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۱۸

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

^۲ دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*مسئول مکاتبه: Email:dghanbarian@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش خواص مکانیکی سه رقم سویا شامل تغییر شکل بیشینه، کرنش گسیختگی، نیروی گسیختگی، انرژی لازم برای گسیختگی، چقرمگی و مدول الاستیسیته‌ی ظاهری با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه متغیر مستقل شامل رقم در سه سطح (M7, L17 و BP)، محتوای رطوبت در سه سطح (۱۰، ۱۲ و ۱۴ درصد بر پایه خشک) و دما (در سه سطح ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درجه سلسیوس) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در هر سه رقم با افزایش میزان رطوبت، میزان تغییر شکل بیشینه، کرنش گسیختگی، انرژی لازم برای گسیختگی و چقرمگی افزایش و نیروی گسیختگی و ضریب الاستیسیته‌ی ظاهری کاهش یافتند. نتایج تجزیه واریانس خواص مکانیکی نشان داد که اثر دما و رطوبت بر تغییر شکل بیشینه، کرنش گسیختگی، انرژی لازم برای گسیختگی، چقرمگی، نیروی گسیختگی و ضریب الاستیسیته‌ی ظاهری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. بر اساس نتایج به دست آمده، اثر رقم نیز بر تغییر شکل بیشینه، انرژی لازم برای گسیختگی، چقرمگی، نیروی گسیختگی و ضریب الاستیسیته‌ی ظاهری در سطح احتمال ۱ درصد و برکرنش گسیختگی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل دما و رطوبت و اثر متقابل رقم و رطوبت و دما نیز بر روی نیروی گسیختگی و ضریب الاستیسیته‌ی ظاهری معنی‌دار شد.

واژگان کلیدی: بارگذاری شبه‌استاتیک، خواص مکانیکی، سویا، مدول الاستیسیته‌ی ظاهری، میزان رطوبت

مقدمه

ماده طبقه‌بندی می‌شوند (رضوی و اکبری، ۱۳۸۵). مطالعه‌ی رفتار نیرو- تغییر شکل محصولات کشاورزی تحت بارهای شبه‌استاتیک کوششی برای کسب نتایج گسترده‌تر از آزمایش‌های عینی به صورت داده‌های قابل استفاده در طراحی و آنالیز مهندسی می‌باشد. در این آزمون که روشی برای مطالعه خواص مقاومتی

خواص مکانیکی به خواص مربوط به رفتار یک ماده تحت تاثیر بار یا نیرو اطلاق می‌شود. بنابراین خواصی از قبیل رفتار تنش- کرنش یا نیرو- تغییر شکل یک ماده تحت بار استاتیکی، شبه‌استاتیک یا دینامیکی و خصوصیات جریان ماده در آب یا هوا به عنوان خصوصیات مکانیکی

هسته و میوه‌ی زیتون را بین دو صفحه‌ی مسطح و با سرعت 8 mm/min تحت بارگذاری قرار دادند. سپس نمودارهای نیرو- تغییر شکل میوه را رسم کرده و نقطه شکست، نیروی شکست و انرژی مصرفی برای شکست را محاسبه نمودند. آنها میانگین نیروی شکست، تغییر شکل، انرژی شکست و چقرمگی برای میوه زیتون را به ترتیب برابر با $81/2$ نیوتن، $3/91$ میلی‌متر، $0/159$ ژول، و $0/29$ مگاژول بر مترمکعب و برای هسته زیتون برابر با $229/5$ نیوتن، $1/4$ میلی‌متر، $0/136$ ژول و $0/206$ مگاژول بر متر مکعب، تعیین نمودند.

راسخ و اسد زاده (۱۳۹۱)، رفتار مکانیکی پنبه دانه رقم ورامین را تحت بارگذاری فشاری شبه استاتیک بررسی کردند. نتایج نشان داد که رطوبت و جهت بارگذاری در سطح احتمال ۱ درصد بر کلیه خواص مورد بررسی، شامل کرنش، سفتی، تنش بیشینه و توان لازم برای گسیختگی، اثر معنی‌دار داشته است. همچنین سرعت بارگذاری بر پارامترهای کرنش و توان لازم برای گسیختگی در سطح ۱ درصد معنی‌دار است.

راسخ (۱۳۹۳)، برخی خواص مکانیکی لوبیا چشم بلبلی (رقم کامران)، شامل: تغییر شکل در نقطه‌ی گسیختگی، نیروی لازم برای گسیختگی، انرژی لازم برای گسیختگی و چقرمگی را در ۴ محتوای رطوبت، ۴ سرعت بارگذاری و ۳ اندازه دانه تعیین نمود. نتایج نشان داد که با افزایش رطوبت، تغییر شکل در نقطه‌ی گسیختگی، انرژی لازم برای گسیختگی و چقرمگی افزایش و نیروی لازم برای گسیختگی کاهش می‌یابد. با افزایش سرعت بارگذاری، کلیه‌ی پارامترها کاهش و با افزایش اندازه‌ی دانه، افزایش یافتند.

توکلی و همکاران (۲۰۰۹)، خواص فیزیکی و مکانیکی دانه‌ی سویا (رقم ویلیامز) را در چهار سطح رطوبت ($6/92$ ، $11/63$ ، $16/42$ و $21/19$ درصد بر مبنای خشک) مورد بررسی قرار دادند. اندازه‌گیری خواص مکانیکی شامل انرژی و نیروی شکست، با اعمال بار فشاری با سرعت ۵ میلی‌متر در دقیقه، انجام شد. نتایج نشان داد که

محصولات کشاورزی است، محصول تحت بارگذاری فشاری تک محوری (شبه‌استاتیک) قرار گرفته و با استخراج منحنی تنش- کرنش یا نیرو- تغییرشکل، پارامترهای مختلف که بیان‌گر رفتار مکانیکی محصول هستند، به دست می‌آیند (توکلی هاشجین، ۱۳۸۲). در آزمایش‌های تعیین خواص مکانیکی می‌توان از محصولات به شکل طبیعی یا نمونه‌های آماده شده استفاده کرد. اما از آنجا که بسیاری از محصولات کشاورزی در حالت طبیعی فرآوری می‌شوند، اندازه‌گیری‌ها باید تا حد امکان در شرایط نزدیک به این حالت انجام شود (محسنین، ۱۹۷۸).

تاکنون محققین بسیاری در زمینه‌ی خواص مهندسی و مکانیکی میوه‌ها و به خصوص دانه‌های روغنی فعالیت کرده‌اند.

اوولاراف و همکاران (۲۰۰۶)، خواص فیزیکی و مکانیکی دو رقم میوه‌ی پالم روغنی را بررسی کردند. آنها ابعاد، کرویت، دانسیته‌های ظاهری و واقعی و تخلخل را به عنوان خواص فیزیکی و نیروی شکست، فشار، زاویه استقرار دینامیکی و ضریب اصطکاک را به عنوان خواص مکانیکی دو رقم "دورا" و "تنرا" اندازه‌گیری نمودند. نتایج نشان داد که رقم، تاثیر معنی‌داری بر خواص فیزیکی و مکانیکی میوه‌ی پالم دارد.

گیلیچکن و گونر (۲۰۰۸)، خواص فیزیکی و رفتار مکانیکی میوه‌ی زیتون را تحت بارگذاری فشاری بررسی کردند. پارامترهای مکانیکی اندازه‌گیری شده شامل تغییر شکل مخصوص، نیرو و انرژی گسیختگی بود. آنها گزارش کردند که نیروی شکست، انرژی شکست و درصد تغییر شکل برای هسته و میوه زیتون با افزایش اندازه و نسبت تغییر شکل افزایش یافته و بیشترین نیروی شکست و درصد تغییر شکل در طول محور طولی میوه و هسته مشاهده شد.

حزباوی و همکاران (۱۳۸۷)، میوه و هسته‌ی زیتون را برای تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی مورد آزمایش قرار دادند. آنها در این تحقیق، جهت تعیین خواص مکانیکی،

۱۲ و ۱۴ درصد و سه سطح دمای ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درجه سلسیوس صورت گرفت.

قبل از انجام آزمایش، میانگین رطوبت برای هر سه رقم بر پایه خشک تعیین شد. برای این کار ابتدا ۵ نمونه ۱۵ گرمی از هر رقم توزین و به مدت ۷۲ ساعت در خشک‌کن با دمای 103 ± 1 درجه سلسیوس قرار داده شد (ASAE, S352.2, 2006). میزان رطوبت اولیه برای هر رقم به کمک رابطه ۱ محاسبه شد (استروشاین، ۱۹۹۸):

$$\%M_c = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad [1]$$

در این رابطه:

M_c : میزان رطوبت (بر مبنای خشک)

m_1 : جرم نمونه قبل از قرار دادن در آون (Kg)

m_2 : جرم نمونه بعد از خروج از آون (Kg) است.

برای رساندن رطوبت نمونه‌ها به رطوبت‌های مورد نظر، مقدار آب مقطر مورد نیاز با استفاده از رابطه‌ی ۲ محاسبه و به نمونه‌ها اضافه شد (سالسیلیک، ۲۰۰۳):

$$Q = \frac{W_i(M_f - M_i)}{100 - M_f} \quad [2]$$

که در این رابطه:

Q : جرم آب مقطر اضافه شده (Kg)

W_i : جرم اولیه نمونه (Kg)

M_i : میزان رطوبت اولیه نمونه (d.b. %)

M_f : میزان رطوبت نهایی نمونه (d.b. %) می‌باشد.

میزان آب مورد نیاز با استفاده از قطره چکان به نمونه‌ها اضافه و سپس نمونه‌ها در پاکت‌های نایلونی جداگانه، به مدت یک هفته در یخچال با دمای ۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند تا رطوبت به طور یکنواخت در بین نمونه‌ها پخش شود. قبل از شروع آزمایش‌ها، مقدار مورد نیاز از هر نمونه از یخچال خارج شده و به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق قرار گرفت (توکلی و همکاران، ۲۰۰۹).

برای تعیین خواص مکانیکی سویا در این تحقیق از دستگاه اینسترون مدل STM-20 استفاده شد. بارگذاری با استفاده از حسگر ۱۰۰ کیلوگرم نیرو انجام پذیرفت. نمونه‌ها بین دو صفحه‌ی مسطح و موازی تحت تراکم

رطوبت تاثیر معنی‌داری بر روی خواص مکانیکی دانه‌ی سویا دارد، به طوری که با افزایش رطوبت، انرژی گسیختگی افزایش و نیروی گسیختگی کاهش یافت.

عالمی و همکاران (۱۳۸۸)، اثر رقم، رطوبت و دمای خشک کردن را بر روی خواص مکانیکی دانه‌ی سویا شامل: نیرو و انرژی شکست، ضریب الاستیسیته‌ی ظاهری و چقرمگی مورد مطالعه قرار دادند. در این آزمایش‌ها سه رقم هیل، پرشینگ و گرگان ۳، تحت بارگذاری شبه استاتیکی با سرعت ۵ میلی‌متر در دقیقه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که هر دو پارامتر رطوبت و دما تأثیر معنی‌داری بر روی نیرو و انرژی لازم برای شکست، چقرمگی و ضریب الاستیسیته‌ی ظاهری دانه دارند.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود اگرچه در دو پژوهش آخر خواص مکانیکی برخی ارقام داخلی سویا در رطوبت‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است، ولی نتیجه‌ی بررسی آنها نشان می‌دهد اثرات دما فقط در پژوهش عالمی و همکاران (۱۳۸۸) مورد مطالعه قرار گرفته است. لذا با توجه به اهمیت تأثیرات دما در فرایندهای فرآوری و روغن‌کشی و تفاوت‌های زیاد در خواص ارقام مختلف، این پژوهش با هدف بررسی اثر دما و رطوبت بر روی رفتار مکانیکی سه رقم پرکاربرد سویا که حاصل فعالیت‌های تحقیقاتی در کشور هستند، صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از سه رقم سویا، از ارقام تولید شده در بخش تحقیقات دانه‌های روغنی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر شامل M7، L17 و BP (تلاز) استفاده شد. کلیه‌ی دانه‌های سویا به طور دستی تمیز و بوجاری شده و دانه‌های شکسته و چروک خورده و مواد خارجی از دانه‌ها جدا شدند.

با توجه به تحقیقات انجام شده توسط سایر محققین و در نظر گرفتن شرایط مربوط به خطوط فرآوری و روغن‌کشی انجام آزمایش‌ها در سه سطح رطوبتی ۱۰،

حد شکستگی دانه، نقطه‌ای در منحنی نیرو- تغییر شکل است که با افت ناگهانی نیرو همراه است. این نقطه، گسیختگی را در ماده بیان می‌کند.

با توجه به نقطه‌ی گسیختگی، حداکثر تغییر شکل و حداکثر نیروی شکست دانه از روی نمودار نیرو- تغییر شکل تعیین شد. انرژی لازم برای گسیختگی با محاسبه سطح زیر نمودار نیرو- تغییر شکل و چقرمگی با محاسبه سطح زیر نمودار تنش- کرنش تا نقطه گسیختگی در نرم- افزار متلب محاسبه گردید.

مدول الاستیسیته‌ی ظاهری بر مبنای تئوری هرتز برای سطوح محدب تعیین گردید. با توجه به بارگذاری بین دو صفحه موازی تخت و شکل متقارن و بیضوی دانه‌ی سویا، رابطه‌ی هرتز به صورت رابطه‌ی ۳ ساده گردید (عالمی و همکاران، ۱۳۸۸):

$$E = \frac{0.338F(1-\nu^2)}{D^{3/2}} \left[2K \left(\frac{1}{R_{min}} + \frac{1}{R_{max}} \right)^{1/3} \right]^{3/2} \quad [3]$$

که:

E: مدول الاستیسیته‌ی ظاهری (Pa) ،

F: نیروی فشاری (N) ،

D: تغییرشکل دانه (m) ،

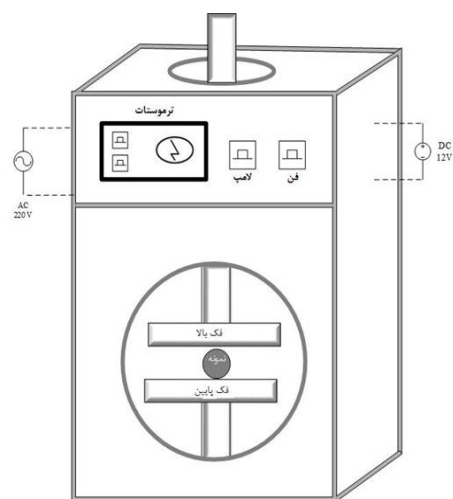
ν : ضریب پواسون،

R_{min} و R_{max} ، شعاع‌های انحنای کوچک و بزرگ سطح محدب دانه در تماس با سطح مسطح فک دستگاه و K ضریبی است که به خصوصیات هندسی دانه بستگی دارد.

مقدار ضریب پواسون با توجه به مقادیر موجود در منابع برابر با ۰/۴ انتخاب شد (میسرا و یانگ، ۱۹۸۱).

برای محاسبه‌ی مدول الاستیسیته ظاهری سویا از آنجا که مقدار دقیق تغییرشکل و نیرو برای جایگذاری در رابطه‌ی هرتز در منابع ذکر نشده بود، با توجه به مقادیر ارائه شده برای محصولات مشابه از جمله گندم (ویکو و همکاران، ۲۰۱۳) و برنج (صادقی و همکاران، ۲۰۱۰)، مقدار تغییرشکل (D) برابر با نصف تغییرشکل مربوط

محوری قرار گرفتند. از هر رقم سویا و به ازای هر سطح رطوبت ۵ نمونه و سرعت بارگذاری برای تمام آزمایش-ها ۵ میلی‌متر در دقیقه انتخاب شد (ASAE, S368.4, ۲۰۰۶). نمونه‌ها به طور کامل و در جهت پهنا‌ی دانه (حالت پایدار) روی فک ثابت قرار می‌گرفتند. در این حالت سویا تحت یک بار پیوسته که متناسب با مقاومت بافت آن افزایش می‌یافت، قرار می‌گرفت و هم‌زمان منحنی نیرو- تغییر شکل توسط نرم‌افزار مربوطه ترسیم و بر روی صفحه مانیتور مشاهده می‌شد. طول اولیه‌ی نمونه با استفاده از کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر، برای محاسبه کرنش، اندازه‌گیری شد. سطح تماس نیز، به منظور محاسبه تنش، با عکس‌برداری از تصویر ایجاد شده از سویا، توسط کاربن بر روی صفحه پلکسی گلاس و پردازش تصویر سطح تماس دانه و صفحات بارگذاری در متلب محاسبه شد. برای اعمال تیمارهای دما محفظه-ای با قابلیت تامین دمای ثابت ساخته شد. طراحی محفظه به گونه‌ای بود که ضمن برقراری دمای مورد نظر، محدودیتی برای انجام آزمون ایجاد نکند. شکل ۱ تصویر شماتیکی از محفظه ساخته شده آن را نشان می‌دهد.



شکل ۱- محفظه ساخته شده برای کنترل دما

نتایج تجزیه واریانس حاکی از این است که اثر دما و رطوبت بر کلیه پارامترهای اندازه‌گیری شده در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است. اثر رقم نیز بر تغییر شکل بیشینه، انرژی لازم برای گسیختگی، چقرمگی، نیروی گسیختگی و ضریب الاستیسیته‌ی ظاهری در سطح احتمال ۱ درصد و بر کرنش گسیختگی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل رقم و رطوبت نیز بر کلیه پارامترهای مورد بررسی به غیر از چقرمگی معنی‌دار بود. اثر متقابل رقم و دما تنها بر روی تغییر شکل بیشینه و کرنش گسیختگی معنی‌دار نبود. اثر متقابل دما و رطوبت و اثر متقابل رقم و رطوبت و دما تنها بر روی نیروی گسیختگی و ضریب الاستیسیته ظاهری معنی‌دار شد (جدول ۱).

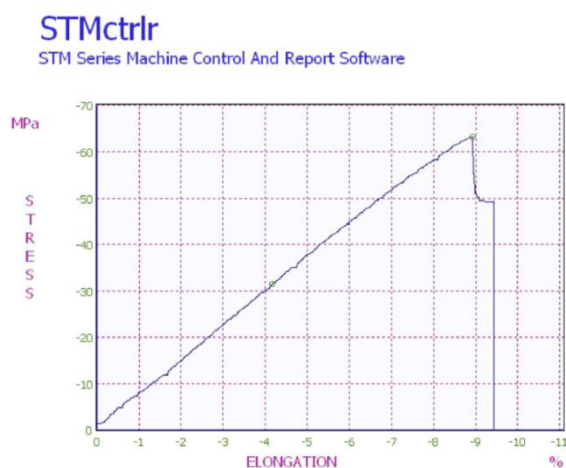
به نقطه‌ی عطف نمودار در نظر گرفته، مقدار نیروی مربوط به آن از روی نمودار قرائت و در رابطه هرتز جایگذاری شد.

شعاع‌های انحنای کوچک و بزرگ سطح محدب دانه بر اساس روش استاندارد (ASAE, S368.4, ۲۰۰۶) و نیز سایر منابع (محسنین، ۱۹۸۶، استروشاین، ۱۹۹۸، ویکو و همکاران، ۲۰۱۳)، با استفاده از روابط ۴ و ۵ محاسبه شد:

$$R_{min} \cong \frac{H}{2} \quad [4]$$

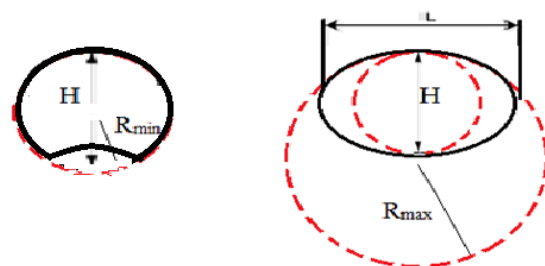
$$R_{max} = \frac{H^2 + L^2}{4} \quad [5]$$

که H ضخامت و L طول دانه بر حسب متر می‌باشند (شکل ۲).



شکل ۳- نمودار تنش- کرنش دانه‌ی سویا تحت بارگذاری شبه استاتیک (رقم L17، رطوبت ۱۰٪، دمای ۲۰°C)

در هر سه رقم با افزایش میزان رطوبت، میزان تغییر شکل بیشینه، کرنش گسیختگی، انرژی لازم برای گسیختگی و چقرمگی افزایش و نیروی گسیختگی و ضریب الاستیسیته ظاهری کاهش یافتند. بیش‌ترین تغییر شکل بیشینه، کرنش گسیختگی و ضریب الاستیسیته ظاهری مربوط به رقم L17 و بیشترین، نیروی گسیختگی، انرژی لازم برای گسیختگی و چقرمگی مربوط به رقم M7 بود.



شکل ۲- نحوه محاسبه R_{max} و R_{min} برای دانه سویا

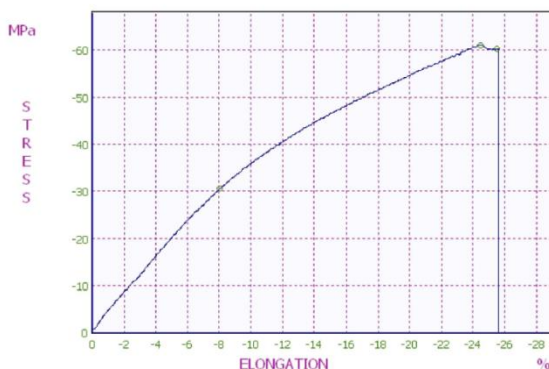
نتایج حاصل از آزمایش‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS تحلیل و آزمون دانکن برای مقایسه میانگین استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج اولیه آزمون بارگذاری شبه استاتیک سویا نشان داد که در منحنی تنش- کرنش دانه‌ی سویا می‌توان بخش خطی و نقطه‌ی شکست را تشخیص داد، اما نمودار دارای نقطه‌ی تسلیم مشخصی نبود. با افزایش میزان رطوبت و دما، منحنی تنش- کرنش به دست آمده از حالت خطی خارج و شکل منحنی با تقعر منفی به خود می‌گیرد. به عنوان نمونه در شکل‌های ۳ و ۴ نمودارهای تغییرات تنش- کرنش مربوط به رقم L17 در رطوبت ۱۰٪ و دمای ۲۰°C و نیز در رطوبت ۱۴٪ با دمای ۶۰°C نشان داده شده است.

STMctrl

STM Series Machine Control And Report Software



شکل ۴- نمودار تنش- کرنش دانه‌ی سویا تحت

بارگذاری شبه استاتیک (رقم L17، رطوبت ۱۴٪، دمای ۶۰°C)

کاهش نیروی لازم برای گسیختگی با افزایش رطوبت را می‌توان به این دلیل نسبت داد که بافت دانه با جذب رطوبت نرم‌تر شده و لذا مقاومت کمتری از خود نشان می‌دهد. نرم‌تر شدن بافت دانه باعث افزایش تغییرشکل در نقطه گسیختگی می‌شود. با افزایش تغییر شکل، میزان انرژی لازم برای گسیختگی و چقرمگی افزایش می‌یابد. نتایج مشابهی توسط راسخ (۱۳۹۳) برای لوییا چشم بلبلی و خزائی و همکاران (۱۳۸۲) برای نخود نیز ارائه شده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس خواص مکانیکی بر اساس میانگین مربعات

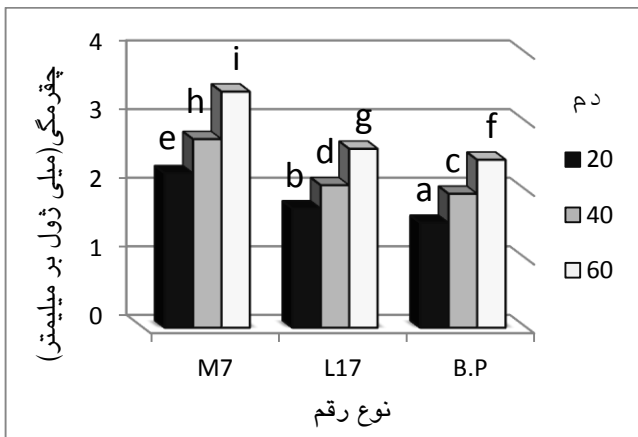
میانگین مربعات							
مدول الاستیسیته ظاهری (MPa)	چقرمگی (mJ/mm)	انرژی گسیختگی (mJ)	نیروی گسیختگی (N)	کرنش گسیختگی (mm/mm)	تغییرشکل بیشینه (mm)	درجه آزادی	منابع تغییرات
۲۱۸/۲۹۱**	۸/۸۶۰**	۲۲۲۶/۳۹**	۴۱۳۹/۷۷۱**	۷/۰۹*	۰/۰۳۰**	۲	رقم
۹۴۳۰/۸۲۷**	۹/۵۶۴**	۱۳۵۶/۵۱۱**	۱۸۰۹۴/۶۴۷**	۲۷۷/۱۸۱**	۰/۹۱**	۲	رطوبت
۱۰۷۷۰/۹۰۴**	۱۱/۱۹**	۱۷۱۲/۶۵۹**	۱۲۹۵۷/۱۹**	۲۱۲/۸۳۷**	۰/۷۸۹**	۲	دما
۴۶/۹۰۷**	۰/۰۴۷ ^{ns}	۸/۲۷۷*	۱۵۵/۲۲۵**	۴/۶۳۵*	۰/۰۲**	۴	رقم*رطوبت
۲۹/۴۱۱**	۰/۱۱۸**	۱۴/۶۶۸**	۵۴۹/۹۹۴**	۱/۵۵۱ ^{ns}	۰/۰۰۹ ^{ns}	۴	رقم* دما
۱۱۹۷/۴۶۸**	۰/۰۶۵ ^{ns}	۵/۳۸۷ ^{ns}	۱۴۵/۷۴۷**	۰/۵۴۱ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۴	رطوبت*دما
۲۱/۳۹۵۸**	۰/۰۳۳ ^{ns}	۳/۷۸۵ ^{ns}	۶۴/۳۸۷*	۰/۶۷۸ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۸	رقم*رطوبت*دما
۶/۰۶۵	۰/۰۲۸	۲/۷۲۹	۳۱/۰۵۴	۱/۵۴	۰/۰۰۴	۱۰۸	خطا

*معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد، *معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و ^{ns}عدم وجود اختلاف معنی‌دار

همکاران (۲۰۰۷) و محمدی مقدم و همکاران (۱۳۹۲) مطابقت دارد.

نتایج مقایسه میانگین به دست آمده از آزمون دانکن برای اثر متقابل رقم و رطوبت بر روی تغییرشکل بیشینه و کرنش گسیختگی به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ مشاهده می‌شود.

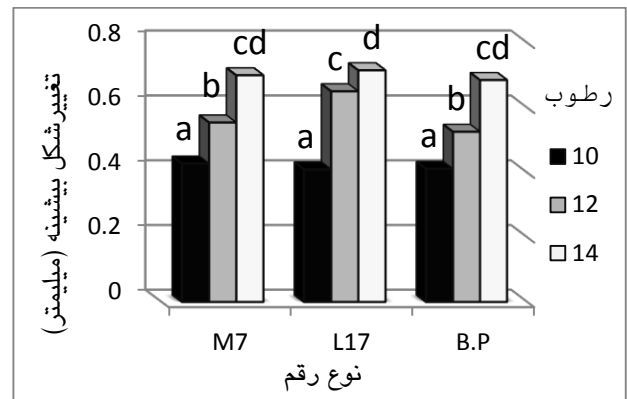
با افزایش دما نیز میزان تغییرشکل بیشینه، کرنش گسیختگی، انرژی لازم برای گسیختگی و چقرمگی افزایش و نیروی گسیختگی و ضریب الاستیسیته ظاهری کاهش یافتند. با توجه به اینکه افزایش دما باعث کاهش استحکام و انسجام سلولی می‌شود، کاهش نیروی گسیختگی و ضریب الاستیسیته ظاهری قابل توجیه است. این نتایج، با نتایج به دست آمده توسط بوروبای و



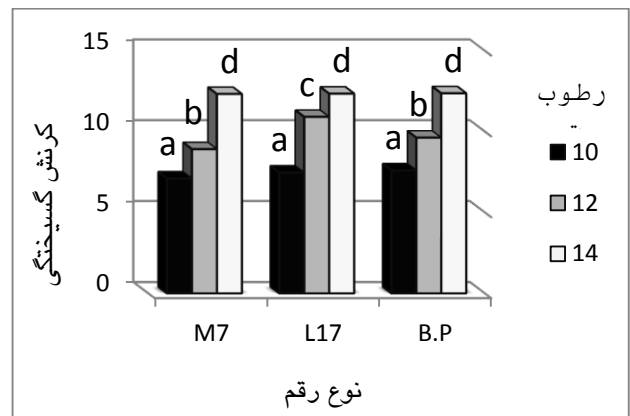
شکل ۸- اثر متقابل رقم و دما بر میانگین چقرمگی

کلیه‌ی اثرات اصلی و اثر متقابل رقم و دما بر روی انرژی لازم برای گسیختگی و چقرمگی معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین به دست آمده از آزمون دانکن برای اثر متقابل رقم و دما بر روی انرژی لازم برای گسیختگی و چقرمگی در شکل‌های ۷ و ۸ مشاهده می‌شود.

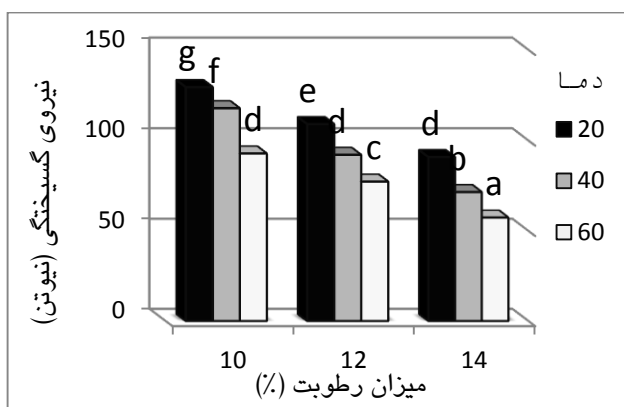
کلیه‌ی اثرات اصلی و اثرات متقابل رقم و رطوبت، رقم و دما، رطوبت و دما و نیز اثر متقابل رقم و رطوبت و دما بر نیروی گسیختگی و مدول الاستیسیته‌ی ظاهری، معنی‌دار بود. نتایج اثرات متقابل دما و رطوبت بر روی این دو پارامتر در شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است.



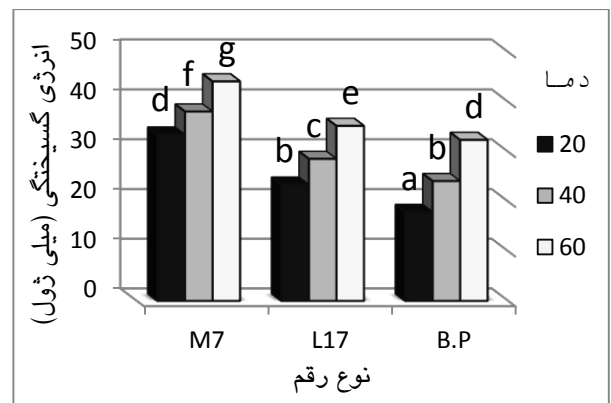
شکل ۵- اثر متقابل رقم و رطوبت بر میانگین تغییر شکل بیشینه



شکل ۶- اثر متقابل رقم و رطوبت بر میانگین کرنش گسیختگی

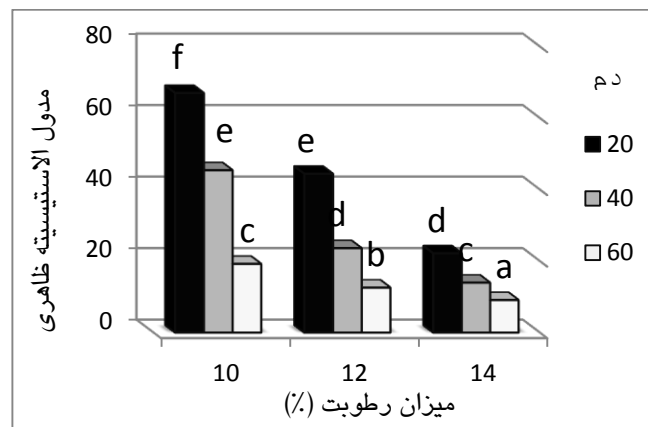


شکل ۹- اثر متقابل رطوبت و دما بر میانگین نیروی گسیختگی



شکل ۷- اثر متقابل رقم و دما بر میانگین انرژی لازم برای گسیختگی

(میسرا و یانگ، ۱۹۸۱). کمترین مدول الاستیسیته ظاهری برای رقم B.P در رطوبت ۱۴ درصد و دمای ۶۰ درجه سلسیوس با مقدار ۸/۶ مگاپاسکال و بیشترین آن، با مقدار ۷۲/۳ مگاپاسکال برای رقم L17 در رطوبت ۱۰ درصد و دمای ۲۰ درجه سلسیوس به دست آمد. انرژی لازم برای گسیختگی نیز یکی از عوامل مهم در طراحی ماشین‌های فرآوری به شمار می‌رود. مشاهده شد که با افزایش میزان رطوبت و دما، مقدار نیروی گسیختگی کاهش و تغییر شکل گسیختگی افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه انرژی گسیختگی با محاسبه سطح زیر نمودار نیرو- تغییر شکل به دست می‌آید، مشاهده می‌شود که اثر افزایش تغییر شکل بر روی انرژی لازم برای گسیختگی بیشتر بوده و این پارامتر نیز با افزایش دما و رطوبت افزایش یافته است.



شکل ۱۰- اثر متقابل رطوبت و دما بر میانگین مدول الاستیسیته ظاهری

مدول الاستیسیته یکی از خواص مهم محصولات کشاورزی است که برای بیان استحکام بافت یک محصول و نیز تعیین تنش شکست محصول و میزان انرژی مصرفی ماشین‌های فرآوری مد نظر قرار می‌گیرد

منابع مورد استفاده

- توکلی هشتجین ت، ۱۳۸۲، مکانیک محصولات کشاورزی، تالیف سیتیکی، انتشارات دانشگاه زنجان.
- حزباوی ع، فتاحی ف، کاظمی ش، اشرف ز، مینایی س، ۱۳۸۷. برخی خواص مهندسی میوه و هسته زیتون. هجدهمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، مشهد.
- خرزائی ج، رجبی پور ع، محتسبی س، بهروزی لار م، ۱۳۸۳، تعیین نیرو و انرژی مورد نیاز برای شکست دانه نخود در بارگذاری شبه استاتیک، مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۵، شماره ۳، ۷۶۵-۷۷۶.
- راسخ م، اسدزاده ع ح، ۱۳۹۱، بررسی رفتار مکانیکی پنبه دانه تحت بارگذاری فشاری، هفتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون.
- راسخ م، ۱۳۹۳، برخی خواص مکانیکی لوبیا چشم بلبلی، فصلنامه علوم و صنایع غذایی، دوره ۱۱ (شماره ۴۴).
- رضوی س م ع، اکبری ر، ۱۳۸۵، خواص بیوفیزیکی محصولات کشاورزی و مواد غذایی، چاپ دوم، مشهد، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- عالمی ه، خوش تقاضا م ه، مینایی س، ۱۳۸۸، تعیین خواص مکانیکی دانه‌ی سویا در بارگذاری شبه استاتیک، مجله علوم و صنایع غذایی، دوره ۱۱ (شماره ۲)، ۱۱۳-۱۲۴.
- محمدی مقدم ت، رضوی س م ع، سازگارنیا آ، تقی زاده م، ۱۳۹۲، بررسی اثر دما، زمان و سرعت جریان هوای برشته کردن بر خصوصیات مکانیکی بافتی مغزهای پسته برشته شده. هشتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون ایران.

ASAE Standard. 2006a. Compression test of food materials of convex shape. S368.4 609-616.

ASAE Standard. 2006b. Moisture measurement- unground grain and seeds. S352.2 606.

- Burubai W, Akor AJ, Igoni AH and Puyate YT, 2007. Effects of temperature and moisture content on the strength properties of African nutmeg (*Monodora myristica*) *International Agrophysic* 2: 217-223.
- Kilickan A and Guner M, 2008. Physical properties and mechanical behavior of olive fruits (*Olea europaea* L.) under compression loading. *Journal of Food Engineering*. 87: 222–228.
- Mohsenin NN, 1970. *Physical properties of plant and animal materials*. Gordon and Breach Science Publishers, Inc, New York NY. Vol. 1.
- Owolarafe OK, Olabige MT, and Faborode MO, 2007. Physical and mechanical properties of two varieties of fresh oil palm fruit. *Journal of Food Engineering* 78: 1228–1232.
- Sacilik K, Özturk R and Keskin R, 2003. Some physical properties of hemp seed. *Biosystems Engineering* 86: 191–198.
- Sadeghi M, Ashtiani Araghi H, Hemmat A, 2010. Physico-mechanical properties of rough rice (*Oryza sativa* L.) grain as affected by variety and moisture content. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal* 12 (3): 129-136.
- Stroshine R, 1998. *Physical properties of agricultural materials and food products*.
- Tavakoli H, Rajabipour A, and Mohtasebi SS, 2009. Moisture-dependent some engineering properties of soybean grains. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal* Vol. XI
- Voicu G, Tudosie EM, (STEFAN) Ungureanu N, Constantin GA, 2013. Some mechanical characteristics of wheat seeds obtained by uniaxial compression tests. *University Politehnica of Bucharest Scientific Bulletin Series D* 75 (4): 265-278.

Effects of temperature and moisture content on some mechanical characteristics of soybeans Under Quasi-static Loading

F Salek¹, D Ghanbarian^{2*}

Received: October 12, 2015

Accepted: May 07, 2016

¹MSc Student. Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

²Associate Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

*Corresponding author: E mail: dghanbarian@yahoo.com

Abstract

In this study, the effect of moisture content (10, 12 and 14% d.b) and temperature (20, 40 and 60 °C) on some mechanical characteristics including maximum deformation, failure strain, failure resistance, rupture energy, toughness and apparent modulus of elasticity was investigated for three soybean cultivars (M7, L17 and BP). The results showed that the maximum deformation, failure strain, rupture energy and toughness increased and the failure resistance and the apparent modulus of elasticity decreased with increasing moisture content. Analysis of variance of the mechanical characteristics indicated that the effect of temperature and moisture content on maximum deformation, failure strain, rupture energy, toughness, failure resistance and apparent modulus of elasticity was significant ($p < 0.01$). In addition, variety effect on maximum deformation, rupture energy, toughness, failure resistance and apparent modulus of elasticity was significant at 1% and on the failure strain at 5% level. Interaction of temperature and moisture and the interaction of temperature, moisture and varieties were significant on the rupture force and the apparent modulus of elasticity.

Key words: Apparent modulus of elasticity, Mechanical Characteristics, Moisture Content, Quasi-static loading, Soybean